

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-22568

(43)公開日 平成10年(1998)1月23日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平8-174590

(22)出願日 平成8年(1996)7月4日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 田中 俊明

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

(54)【発明の名称】 半導体装置

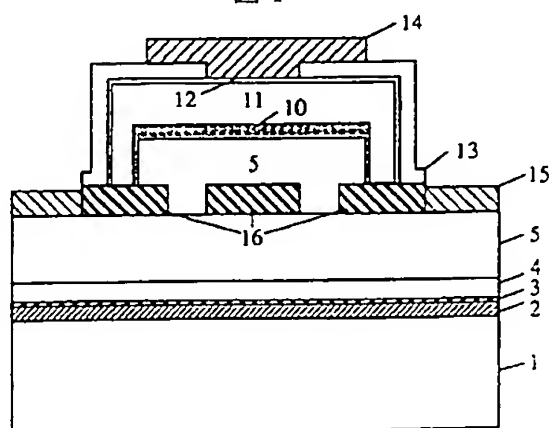
(57)【要約】 (修正有)

【課題】 窒化物材料からなる電子デバイスや光デバイスを構成する核結晶層の欠陥密度を低減する手法を提供し、さらに、半導体レーザ素子で必要となる基本横モード制御のストライプ構造を実現し、光ディスクシステム等に代表される応用分野の光源として適用される半導体装置を提供する。

【解決手段】 炭化珪素( $\alpha$ -SiC)基板1上に、絶縁膜を一面に設け表面を窒化処理した後に、GaNバッファ層4とn型GaN光導波層5を結晶成長する。次に、絶縁膜マスク16を形成した後、層5から層12まで選択成長する。電流狭窄する絶縁膜13を設けた後、p側電極及びn側電極を蒸着し、劈開して共振器面を切り出してストライプにより素子を分離する。

【効果】 半導体レーザ素子の光導波層や発光活性層における結晶欠陥密度を従来よりも低減し、散乱損失による内部光損失を格段に減少させた。

図 4



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】窒化処理がなされた絶縁物層を有する所定基板とこの絶縁物層を覆うように設けられた窒素を含有する半導体層とを有し、窒素を含有するこの半導体層に少なくとも電子素子部あるいは光素子部のいずれか一者が設けられていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】請求項 1 に記載の半導体装置において、窒素を含有する前記半導体層には少なくとも電子素子部および光素子部の両者が設けられていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】請求項 1 及び請求項 2 のいずれかに記載の半導体装置において、前記窒化処理がなされた絶縁物層はアルミニウムおよびガリウムの群より選ばれた少なくとも一者を構成元素として有していることを特徴とする半導体装置。

【請求項 4】請求項 1 より請求項 3 のいずれかに記載の半導体装置において、前記窒化処理がなされた絶縁物層は少なくともその表面に窒化アルミニウムおよび窒化ガリウムの群から選ばれた少なくとも一者を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】請求項 1 より請求項 4 のいずれかに記載の半導体装置において、前記窒化処理がなされた絶縁物層はアルミニウムおよびガリウムの群より選ばれた少なくとも一者の酸化物あるいは窒化物のいずれかを少なくとも有することを特徴とする半導体装置。

【請求項 6】請求項 4 及び請求項 5 のいずれかに記載の半導体装置において、基板上に設けてある該絶縁膜はアルミニウムまたはガリウムが少なくとも構成元素であり、絶縁膜がそれらの酸化物または窒化物または酸化窒化物からなっており、 $AlO_x$ ,  $Al_2O_3$ ,  $AlO_{1-x}N_x$ ,  $AlN$ ,  $GaO_x$ ,  $Ga_2O_3$ ,  $GaO_{1-x}N_x$ ,  $GaN$ ,  $AlGaO_x$ ,  $(AlGa)_2O_3$ ,  $(AlGa)O_{1-x}N_x$ ,  $AlGaN$  の形からなるいずれかの材料により形成してある絶縁膜上に設けてあることを特徴とする半導体装置。

【請求項 7】請求項 1 に記載の半導体装置において、該絶縁膜を設ける基板は少なくともその上に結晶成長する窒化物材料の成長温度よりも高い融点を有している材料から構成されており、該高融点を有していることを満たした材料からなる基板であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 8】請求項 7 に記載の半導体装置において、該基板の融点或いは軟化点が望ましくは窒化物材料の結晶成長温度の少なくとも 1.5 倍以上を有している半導体装置。

【請求項 9】請求項 1 に記載の半導体装置において、前記基板はダイヤモンド構造、閃亜鉛鉱ジンク・ブレンド (Zinc Blende) 構造および六方晶ウルツ鉱型 (Wurtzite) 構造のいずれかの結晶構造を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項 10】請求項 9 に記載の半導体装置において、前

記基板はダイヤモンド構造の Si 基板、或いは閃亜鉛鉱 Zinc Blende 構造の炭化珪素 ( $\beta$ -SiC) または窒化ガリウム ( $\beta$ -GaN) または窒化アルミニウム ( $\beta$ -AlN)、或いは六方晶 Wurtzite 構造である単結晶サファイア ( $\alpha$ - $Al_2O_3$ ) または炭化珪素 ( $\alpha$ -SiC) または窒化ガリウム ( $\alpha$ -GaN) または窒化アルミニウム ( $\alpha$ -AlN) のいずれか一者を少なくとも含むことを特徴とする半導体装置。

【請求項 11】請求項 9 又は請求項 10 に記載の半導体装置において、前記基板が単結晶基板であり、特定の結晶面において劈開性を有していることを特徴とする半導体装置。

【請求項 12】請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載の半導体装置において、前記光素子部は劈開によって共振器面を形成した半導体レーザ素子を含むことを特徴とする半導体装置。

【請求項 13】請求項 1 請求項 2 及び請求項 11 のいずれかに記載の半導体装置において、該基板上に設けた結晶層の上に、絶縁膜マスクパターンを設けて選択成長を適用することにより、光導波路を形成し、該光導波路には発光活性層と光導波路からなる異種二重接合構造を構成してある半導体レーザ素子であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 14】請求項 13 に記載の半導体装置において、該半導体レーザ素子の基本横モードのみを安定に導波できる屈折率導波構造として、活性層横方向に実屈折率差を設けた埋め込み BH (Buried Heterostructure) ストライプ構造を設けてあることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 15】請求項 13 に記載の半導体装置において、該半導体レーザ素子の基本横モードのみを安定に導波できる屈折率導波構造として、活性層横方向に複屈折率差を設けて形成できるリッジストライプ構造を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 16】請求項 12 から請求項 15 のいずれかに記載の半導体装置において、該半導体レーザ素子の発光活性層は量子井戸層により構成してある単一或は多重量子井戸構造であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 17】請求項 16 に記載の半導体装置において、該半導体レーザ素子の発光活性層は格子歪を導入した歪量子井戸層により構成してある単一或は多重歪量子井戸構造であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 18】請求項 1 から請求項 17 のいずれかに記載の半導体装置において、素子を構成する結晶層は窒化物半導体  $AlGaInN$  材料からなることを特徴とする半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理或は光応用計測光源に適する半導体レーザ素子に適用して特に有用な半導体装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の技術では、サファイア基板上に窒化物材料によるバッファ層を設けた後、窒化物半導体GaInN/GaN/AlGaIn系からなる青色波長域の半導体レーザダイオードを作製した公知例1) ジャパン・ジャーナル・アプライド・フィジックス1996年、35巻、L74-L76頁(Jpn J. Appl. Phys., 35, L74-L76(1996).)が示されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の技術では、窒化物材料を設ける基板材料を限定した基板上において、半導体レーザダイオードを構成する窒化物系材料の発光活性層や光導波層を結晶成長により設けており、他の基板上に素子を設ける手法については言及していない。また、従来の技術よりも結晶欠陥密度を低減した結晶層を形成する手法については言及していない。さらに、上記従来の技術は共振器面をドライ加工により作製しているが、プロセスの容易な劈開法による共振器面の作製についてやレーザ素子の横モードを制御する導波路共振構造については説明していない。

【0004】本発明の目的は、第1に窒化物材料を結晶成長できる基板材料の選択範囲を拡大することである。更に、絶縁膜上に低欠陥密度の結晶層を設ける手法を示し、電界効果型トランジスタ等の電子デバイス、および発光ダイオードやレーザ素子に代表された光デバイスを良好に形成することにある。さらに、レーザ素子では基本横モードを制御できるストライプ構造を達成し、窒化物材料からなる半導体レーザの素子特性を向上させるとともに、基本横モードの近視野像を必要とする光ディスクシステム等に代表される応用分野へ光源として窒化物半導体レーザの適用を可能とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段を以下に説明する。

【0006】本発明では、基板上に設ける結晶層の成長温度よりも高い融点を有した堅牢な基板であれば、任意の基板を用いて主に窒化物半導体材料を従来の技術よりも低欠陥密度で結晶成長できることを考案した。基板材料の構成は、Si基板に代表されるダイヤモンド構造や、 $\beta$ -SiC炭化珪素基板に代表される閃亜鉛鉱Zinc Blende構造或いは $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>サファイアや $\alpha$ -SiC炭化珪素に代表される六方晶Wurtzite構造であってもよい。少なくともこれら基板上に絶縁膜を設けることを共通として、窒素原料を用いて窒化処理することにより該絶縁膜の表面を改質し、その上に窒化物材料のバッファ層やエピタキシャル結晶層を設ける。本技術では、成長する結晶層の格子定数が基板材料と大きく異なり格子定数差が大きい場合であっても、絶縁膜上に結晶成長ができ、結晶欠陥密度が小さいエピタキシャル結晶層を形成できることが特徴である。

【0007】本発明によれば、上記基板上に絶縁膜として酸化膜又は窒化膜或いは酸素と窒素への結合が混在した酸化窒化膜を設けておき、該絶縁膜の表面を窒化処理することにより、窒化物半導体の核形成のために必要な均一な表面を形成することができる。該絶縁膜の状態は、単結晶又は多結晶或いは非晶質であってもよく、窒化処理により表面から少なくとも数原子層オーダーの深さまで窒化した状態としておく。この場合、均一な窒化した状態が好ましい。この窒化処理した均一な絶縁膜表面には、窒化物材料のバッファ層成長時に均一な核を形成でき、従来の技術よりも低欠陥密度のエピタキシャル成長層を設けることが可能であった。従来の技術では、結晶層に結晶欠陥密度が $10^4 \sim 10^{11}/\text{cm}^2$ の高い範囲であるのに対し、本手法による絶縁膜上の結晶成長によると結晶欠陥密度を $10^1 \sim 10^3/\text{cm}^2$ の低いレベルに低減できた。これにより、結晶層におけるキャリア移動度やキャリア再結合発光強度が格段に増大した。

【0008】さらに本発明では、選択成長技術を適用することにより、絶縁膜マスク上において横方向に結晶層をホモエピタキシャル成長が可能となる。本手法により、結晶欠陥密度をさらに低減した導波路構造を形成できる。本技術では、絶縁膜マスク上ではホモエピタキシャル成長し、結晶欠陥密度の小さい単結晶層を形成でき、欠陥密度を上記よりさらに $2 \sim 3$ 桁低い $10^1 \sim 10^2/\text{cm}^2$ 範囲に減少させることが可能であった。これは、特に半導体レーザの低損失導波路を形成する上で、レーザ光の伝搬時における散乱損失を低減できるので重要となる。つまり、窒化物半導体からなる青色半導体レーザ素子の基本特性や信頼性に関する性能を格段に改善することにつながる。

【0009】本発明の選択成長による導波路構造では、上記低欠陥密度の導波路形成だけではなく、半導体レーザにおける基本横モードの伝搬が可能となる導波路形状を作製できる。活性層横方向に実屈折率差を設けた埋め込みBH(Buried Heterostructure)ストライプ構造や複素屈折率差を設けたリッジストライプ構造を形成し、基本横モードを高出力動作まで安定に確保した屈折率導波型構造を設けた素子が実現可能である。

【0010】また、用いる基板の特徴を活かすことにより、例えばSi基板上では従来の技術で作製されるFETやバイポーラトランジスタ等の電子デバイスと上記半導体レーザ素子等の光デバイスを集積化させることが可能であり、SiC基板上ではさらに数百度で動作する高温用の電子デバイスとも光デバイスを集積化させることも達成できる。光素子としては発光ダイオード、半導体レーザ等の発光素子、光スイッチや変調器の導波路素子、PINホトダイオードやアバランシェホトダイオードの受光素子等を考えることが出来る。

【0011】以上により、本発明の手法では、半導体素子を形成する結晶層、特に窒化物半導体を低欠陥密度で

結晶成長できるとともに、電子デバイスや半導体レーザー素子等の光デバイスの性能を向上させることが可能であった。

【0012】

【発明の実施の形態】

(実施例1) 本発明の一実施例を図1により説明する。図1において、面方位(0001)C面のn型炭化珪素( $\alpha$ -SiC)基板1上に、まず電子サイクロトロン共鳴プラズマ装置を用いて絶縁膜として $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層2を一面に設ける。次に、窒素原料であるアンモニア( $\text{NH}_3$ )を用いて層2の表面を窒化処理する。有機金属気相成長装置を用いて、アンモニア( $\text{NH}_3$ )雰囲気中で温度1030℃まで昇温し数分間アンモニア( $\text{NH}_3$ )にさらすことにより絶縁膜 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層2の表面層にアルミニウムと窒素が結合したAlNを含む表面窒化層3を形成させる。有機金属気相成長装置内で連続して、低温GaNバッファ層4、n型GaN層5まで有機金属気相成長法により結晶成長する。次に、絶縁膜6を設けて所定形状に加工する。この絶縁膜をマスクとしてSiイオン打ち込みを行うことにより、高濃度のn+型GaN層7を形成する。この後、リソグラフィと電子ビーム蒸着により、Ti/Al電極8を形成する。図1中の真中のTi/Al電極を電界効果型トランジスタ(FET)のドレイン電極とし、両端のTi/Al電極をソース電極とする。また、リソグラフィを利用して、多結晶Siゲート9を設ける。このようにして、図1の断面に示した、六方晶Wurtzite構造窒化物半導体からなる金属酸化膜(MOS)FETを作製した。

【0013】 本実施例では、従来の結晶成長技術では達成できなかった、低欠陥密度の窒化物半導体結晶層を絶縁膜マスク上に形成できた。従来の技術では、結晶欠陥密度が $10^8 \sim 10^{11}/\text{cm}^2$ 範囲のレベルであるのに対し、本手法による絶縁膜上の結晶成長では、結晶欠陥密度を $10^4 \sim 10^6/\text{cm}^2$ のレベルに低減できた。このため、従来の結晶成長技術で作製した結晶層に比べて、良好なドレイン電流飽和特性と低い漏れ電流を実現できた。ゲート電圧が-6Vでドレインソース間電圧が3Vの時に、閾値以下の漏れ電流は室温で1 $\mu\text{A}$ 以下であり、400℃においても100 $\mu\text{A}$ 以下の低い値を示した。ドレインソース間電圧3Vとしたとき、5 $\mu\text{m}$ ゲート長素子の相互コンダクタンス最大値は、室温で0.6mS/mm、400℃において1.8mS/mmの高い値を得た。本素子は、650℃の高温までトランジスタ動作を確認できた。

【0014】 (実施例2) 本発明の他実施例を図2により説明する。実施例1と同様に層4まで形成した後、光導波路としてn型GaN層5を設け、引き続いてAlGaN光分離閉じ込め層とGaN量子障壁層及びGaInN圧縮歪量子井戸層からなる圧縮歪多重量子井戸活性層10、p型GaN光導波路層11、p型GaInNコンタクト層12を順次有機金属気相成長法により結晶成長する。次に、ホトリソグラフィとエッチング加工により、図2に示すように、層

5に到るまで結晶層を除去する。この後、絶縁膜13を設けて、ホトリソグラフィと電子ビーム蒸着により、Ni/Au電極14とTi/Al電極15を形成する。スクライプによって素子を切り出すことにより、図2に示す六方晶Wurtzite構造窒化物半導体からなる発光素子断面を得た。

【0015】 本実施例によると、実施例1と同様に低結晶欠陥密度の窒化物半導体結晶層を得ることができたため、光素子としても従来にない発光強度や特性を達成し、高出力高効率で動作する青色発光ダイオードを実現できた。青色波長領域では40mW以上の光出力と10カンデラ以上の輝度を達成し、緑色波長域では少なくとも25mWの光出力と20カンデラ以上の輝度を得た。本素子の量子効率、従来素子の2倍以上である10%を達成できた。色純度も従来に比べて改善でき、発光スペクトル半値幅を従来の半分以下である10nm以下にすることができた。また、本素子の室温における発光波長は、発光活性層の禁制帯幅を設計して材料の組成や量子井戸層膜厚により、青紫色から赤色の波長域まで変化させることが可能であり、各波長を有する発光ダイオード素子を作製できた。

【0016】 (実施例3) 本発明の他実施例を図3により説明する。実施例2と同様に層5まで結晶成長した後、有機金属気相成長法により選択成長するための絶縁膜マスク16を設ける。次に、n型GaN光導波路層5、AlGaN光分離閉じ込め層とGaN量子障壁層及びGaInN圧縮歪量子井戸層からなる圧縮歪多重量子井戸活性層10、p型GaN光導波路層11、p型GaInNコンタクト層12を結晶成長する。その後、実施例2と同様のプロセスを経て、図3に示す素子縦断面を得た。

【0017】 本実施例によると、発光活性層幅を1~4 $\mu\text{m}$ の範囲に設定することにより、実屈折率差で導波するBHストライプ屈折率導波型構造を設けることができた。本素子では、低閾値高効率で連続動作するレーザー特性を達成し、閾値電流は従来の利得導波型構造の素子における300~600mAより1/3~1/4に低減でき、100mA以下の閾値電流を得た。また、量子効率は従来素子の5倍以上を達成し、50~60%の内部量子効率を得た。本素子は、室温において発振波長410~430nmの範囲でレーザー動作したが、発光活性層の禁制帯幅を設計して材料の組成や量子井戸層膜厚により、青紫色から緑色の波長域まで変化させることが可能であり、各発振波長を有した半導体レーザーを作製できた。

【0018】 (実施例4) 本発明の他実施例を図4により説明する。実施例3と同様に層5まで結晶成長した後、有機金属気相成長法により選択成長するための絶縁膜マスク16を設ける。このとき、ストライプ中央部に相当する領域に絶縁膜マスクを設け、開口部を図4に示すように二つ形成する。その後、実施例3と同様のプロセスを経て、図4に示す素子断面を得た。

【0019】本実施例では、選択成長した光導波層5において、中央部の絶縁膜マスク上で横方向にホモエピタキシャル成長させることが可能であり、合体させることにより一つの結晶層を形成している。中央部の絶縁膜上の領域における光導波層では、さらに低欠陥密度で形成でき $10^4 \sim 10^5/\text{cm}^2$ のレベルに低減できた。これにより、低損失でレーザ光を導波できるようになり、内部光損失を格段に低減できた。実施例3に比べて、少なくとも閾値電流を1/2以下に低減可能であり、30～50mAの素子を得た。量子効率も実施例3の素子よりも高い値を示し、70～80%の内部量子効率を得た。本素子は、室温において発振波長410～430nmの範囲でレーザ動作したが、発光活性層の禁制帯幅を設計して材料の組成や量子井戸層膜厚により、青色から緑色の波長域まで変化させることが可能であり、各発振波長を有した半導体レーザを作製できた。

【0020】(実施例5)本発明の他実施例を図5により説明する。実施例4と同様に素子を作製するが、層12を設けた後に、リソグラフィとエッチング加工により中央に図5に示すリッジストライプを形成する。次に、n型Ga<sub>0.5</sub>N電流狭窄層或いは誘電体絶縁膜17を選択成長する。その後、実施例3や4と同様のプロセスを経て、図5に示す素子断面を得た。

【0021】本実施例では、活性層横方向においてリッジストライプを形成することにより、実施例4における低欠陥密度の領域にのみ電流を有効に注入でき、漏れ電流を極端に抑制できる。これにより、利得損失等によって生ずる、内部光損失を小さくすることが可能であった。実施例4に比べてさらに閾値電流を1/2以下に低減可能であり、5～10mAの素子を得た。量子効率も実施例4の素子よりも高い値を示し、80～90%の内部量子効率を得た。本素子では、活性層横方向に複屈折率差を設けた屈折率導波構造を設けたストライプ構造により、実施例3や4よりも3～5倍の光出力が得られる高出力動作を達成できた。本素子は、室温において発振波長410～430nmの範囲でレーザ動作したが、発光活性層の禁制帯幅を設計して材料の組成や量子井戸層膜厚により、青色から緑色の波長域まで変化させることが可能であり、各発振波長を有した半導体レーザを作製できた。

【0022】(実施例6)本発明の他実施例を説明する。実施例1から5までの素子を同様に作製するが、炭化珪素基板1の代わりにSi基板を用いてその上に素子を作製する。実施例1から5までの各々素子作製プロセスを経て、同様の素子を作製することができた。

【0023】本実施例では、Diamond構造のSi基板上に絶縁膜を介して、六方晶系Wurtzite構造の窒化物半導体を結晶成長させることができた。本手法では、実施例1から5までの素子と同様の特性を達成することが可能であった。また、Si基板上に設けた電子デバイスとの集積

化ができるので、半導体レーザや受光素子を駆動する回路も集積化させて動作させることも可能であった。

【0024】(実施例7)本発明の他実施例を説明する。実施例1から5までの素子を同様に作製するが、炭化珪素基板1の代わりにサファイア( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )基板を用いてその上に素子を作製する。実施例1から5までの各々素子作製プロセスを経て、同様の素子を作製することができた。

【0025】本実施例によると、従来より用いられているサファイア( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )基板上に比べ、結晶層の欠陥密度を従来技術の4桁から5桁低減でき、 $10^4 \sim 10^5/\text{cm}^2$ 範囲にまで減少させた。これにより、実施例1から5までの素子と同様の特性を達成可能であった。従来技術に比べて、実施例1から5に示すように、電子デバイスでは漏れ電流を低減できかつ相互コンダクタンスを高めることが可能であり、光デバイスでは発光ダイオードの量子効率や光出力を増大し、半導体レーザにおいては閾値電流を格段に低減し量子効率や光出力を飛躍的に増大できた。

【0026】

【発明の効果】本発明により、窒化物半導体の成長温度よりも高い融点を有した任意の基板上に設けた絶縁膜の上に、従来技術では達成できなかった低欠陥密度の窒化物半導体結晶層を設けることを実現した。従来技術では結晶層中の欠陥密度が $10^4 \sim 10^5/\text{cm}^2$ 範囲であったのに対して、本手法では絶縁膜上の結晶成長により欠陥密度を $10^4 \sim 10^5/\text{cm}^2$ の低いレベルに低減できた。これにより、電子デバイスでは、漏れ電流を低減しかつ相互コンダクタンスを高めることが可能となり、光デバイスでは、量子効率や光出力を向上させることが可能となり、素子の性能を改善させる効果が顕著であった。

【0027】本発明の選択成長技術では、半導体レーザ素子の光導波層や発光活性層における結晶欠陥密度をさらに低減し、散乱損失による内部光損失を格段に減少させることが可能であった。絶縁膜上の結晶成長と選択成長による横方向ホモエピタキシャル成長によって、欠陥密度を $10^4 \sim 10^5/\text{cm}^2$ 範囲のレベルに減少させることができた。これにより、結晶欠陥に起因した利得損失によって生ずる内部光損失を格段に下げることが可能となった。同時に、選択成長用の絶縁膜マスクパターンによって、活性層横方向に実屈折率差を設けて基本横モードを安定に導波できるBHストライプ屈折率導波構造を作製することができた。また、導波路の加工により複屈折率差を設けて基本横モードを安定に導波できるリッジストライプ屈折率導波構造の作製も可能であった。これらの半導体レーザ素子構造では、閾値電流を従来技術による素子よりも1/10から1/20にまで低減でき、かつ量子効率や光出力を5倍以上に増大させることができた。閾値電流や動作電流を実用上必要となる100mA以下に設定することも可能であった。本発明の素子では、青色

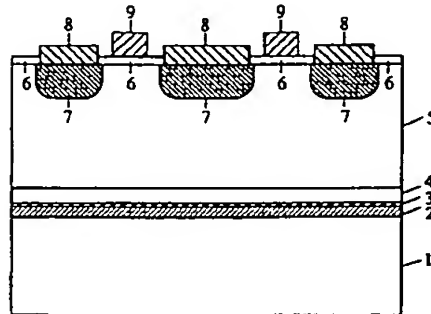
から緑色波長域の短波長でレーザ発振する低閾値高効率動作の窒化物半導体レーザを達成した。

【0028】また本発明では、単体デバイスや集積デバイスの用途に応じて、基板材料を選択し使い分けができる。Si基板を用いると、従来のSi電子デバイスと窒化物半導体光デバイスを集積化することが可能となる。また、SiC基板を用いることにより、数百度の高温でも動作する電子デバイスと光デバイスを集積化でき、単体デバイスでは劈開によって共振器面を作製した半導体レーザ素子を容易に実現できる。サファイア基板他の高融点

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1



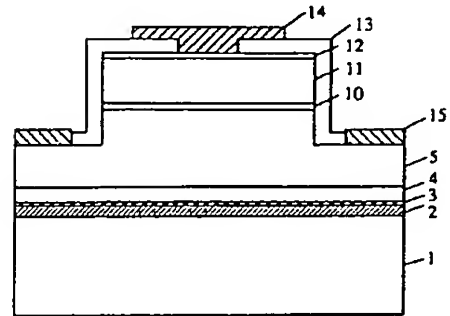
\* 【図1】本発明の一実施例における素子構造縦断面図。  
【図2】本発明の他実施例における素子構造縦断面図。  
【図3】本発明の他実施例における素子構造縦断面図。  
【図4】本発明の他実施例における素子構造縦断面図。  
【図5】本発明の他実施例における素子構造縦断面図。  
【符号の説明】

1…(0001)C面α-SiC単結晶基板、2…絶縁膜、3…絶縁膜表面窒化層、4…GaNバッファ層、5…n型GaN層、6…絶縁膜マスク、7…Siイオン打ち込みn型GaN層、8…Ti/Al電極、9…多結晶Si、10…GaInN/GaN/AlGaIn多重量子井戸構造活性層、11…p型GaN光導波層、12…p型GaInNコンタクト層、13…絶縁膜、14…Ni/Au電極、15…Ti/Al電極、16…選択成長用絶縁膜マスク、17…n型GaN電流狭窄層或いは誘電体絶縁膜。

\*

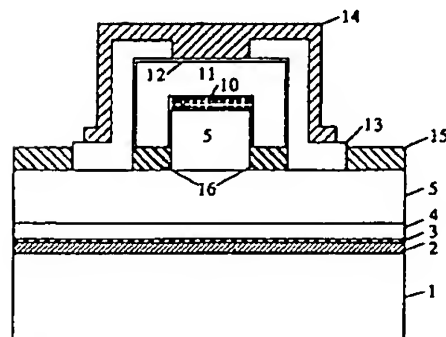
【図2】

図2



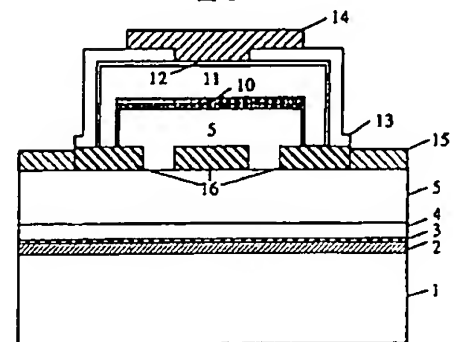
【図3】

図3



【図4】

図4



【図 5】

